

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
— Kieferchirurgische Klinik —
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. med., Dr. med. dent. H. Scheunemann)

Mikroangiographische Untersuchungen druckstabilisierter Beckenkammtransplantate - Tierexperimentelle Untersuchungen -

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von
Franz-Josef Bodtländer
aus Saarlouis

1979

Mainz 1978



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552618_0009

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
— Kieferchirurgische Klinik —
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. med., Dr. med. dent. H. Scheunemann)

Mikroangiographische Untersuchungen druckstabilisierter Beckenkammtransplantate - Tierexperimentelle Untersuchungen -

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von
Franz-Josef Bodtländer
aus Saarlouis

Mainz 1978



Fachbereichsdekan : Prof. Dr. Dr. W. Ketterl

1. Gutachter : Prof. Dr. Dr. J. Reuther

2. Gutachter : Prof. Dr. Dr. P. Tetsch

Tag der mündlichen Prüfung: 17.Jan.1979

MEINER MUTTER GEWIDMET

INHALTSÜBERSICHT :

	Seite
1.0 EINLEITUNG	1
2.0 FREIE KNOCHENTRANSPLANTATION	3
2.1. Anatomische Vorbemerkungen speziell: Gefäßversorgung des Knochens	4
2.2. Revaskularisation	12
2.3. Ruhigstellung frei transplanterter Knochenspäne	19
3.0 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	21
3.1. operative Technik	21
3.2. Mikroangiographische Untersuchungen	25
3.2.1 Technisches Vorgehen	27
3.2.2 Untersuchungstechnik	30
4.0 ERGEBNISSE	34
5.0 DISKUSSION	41
6.0 ZUSAMMENFASSUNG	46
7.0 LITERATURVERZEICHNIS	48

1.0 EINLEITUNG :

Die Rekonstruktion des Unterkiefers nach Kontinuitätsverlust infolge eines Traumas oder aufgrund von Tumorresektionen besitzt große klinische Bedeutung. Die Mandibula ist beim Atmen und Schlucken funktionell integriert, so daß je nach Lokalisation des Knochendefektes neben der aesthetischen Entstellung auch schwere funktionelle Störungen zu erwarten sind.

Die freie Knochentransplantation stellt heute zum definitiven Unterkieferersatz die Methode der Wahl dar. Das Verfahren wurde erstmals von SYKOFF im Jahr 1900 zur Überbrückung eines Unterkieferdefektes angewandt. Seither haben sich viele Autoren mit diesem Problem beschäftigt und es praktisch zu einem Standardverfahren weiterentwickelt (LEXER, 1908, 1911, 1919; G.AXHAUSEN, 1908 a u.b, 1909, 1911; PAYR, 1908; LINDEMANN, 1915, 1926, 1938; v.ERTL, 1918 und GANZER 1940 a u. b, 1943).

Für das reaktionslose Einheilen des vollständig von seiner Blutversorgung abgetrennten Knochenspanes ist das Überleben einer größtmöglichen Anzahl vitaler Zellen mit osteogenetischer Potenz im Transplantat notwendig. Hierfür bietet eine möglichst rasche Revaskularisierung des Transplantatknochens die besten Voraussetzungen.

Um einen schnellen Gefäßanschluß des Knochenspans zu erreichen, ist ein enger Kontakt von Transplantat mit den Resektionsstümpfen und den umgebenden Weichteilen sowie eine absolute Ruhe dieser Verbindung notwendig.

Diese Forderungen lassen sich in optimaler Weise erfüllen, wenn die Adaptation und Fixation des Transplantatknochens mit Hilfe von selbstspannenden Überbrückungsplatten erfolgt, wie REUTHER (1977) in einer tierexperimentellen Untersuchungsreihe nachweisen konnte.

Im Rahmen dieser Versuchsserie haben wir mit mikroangiographischer Gefäßdarstellung die Revaskularisierung der druckstabilisierten autologen Knochenspäne untersucht.

2.0 FREIE KNOCHENTRANSPLANTATION :

In der Kiefer- und Gesichtschirurgie hat sich die freie Transplantation autologer Knochenspäne in den letzten Jahrzehnten zu einer Routineoperation entwickelt. Dabei werden Transplantate zur Auffüllung zystischer Defekte, zur Anregung der Osteogenese bei Pseudarthrosen und zur Überbrückung knöcherner Defekte als Traumafolge oder nach Tumorresektionen eingesetzt.

Bis zur vollständigen Inkorporation des Transplantats spielen sich, durch die Präparation bedingt, am Lagerknochen die gleichen biologischen Vorgänge ab wie bei der Frakturheilung (HAM und HARRIS, 1956, 1971). Neben der rein induktiven Wirkung des Transplantates wird seit OLLIER (1867) auch dem Knochenspan von vielen Autoren (W.AXHAUSEN, 1951, 1952, 1962; CHALMERS, 1959, 1962; BURWELL, 1963, 1964, 1965; SCHWEIBERER, 1970, 1971 a u. b; RAY, 1963, 1972 b; BASSETT, 1972) eine entscheidende Rolle bei seiner Einheilung zuerkannt. Diese von OLLIER als "Osteoblastenlehre" vertretene Auffassung bedingt die Knochenbildung im Transplantat als Leistung transplantateigener, vitaler Zellen mit osteogenetischer Potenz. Für die Vitalerhaltung einer größtmöglichen Anzahl dieser Zellen ist die rasche Revaskularisierung unbedingt erforderlich.

Zum Verständnis dieser Vorgänge sind einige anatomische Besonderheiten des Knochens zu berücksichtigen.

2.1 Anatomische Vorbemerkungen

Der Knochen ist eine lebende dynamische Substanz, welche durch exogene und endogene Mechanismen gesteuert wird und als Reaktion auf Schädigungen, Beanspruchungen und vaskuläre Einflüsse auffallende Veränderungen zeigt.

Charakteristisch für den Knochen und bedeutend für die Knochenbildung sind die von GEGENBAUER 1864 als Osteoblasten bezeichneten Zellen. Diese spezifischen Zellen produzieren eine organische Interzellulärsubstanz, aus welcher durch Enzymwirkung das kollagene Fasergerüst ausgefällt wird (PRITCHARD, 1952, 1956; KNESE, 1956, 1963; KNESE und KNOOP, 1961). Den kollagenen Faserbündeln lagert sich später ein Kristallmantel an (KNESE u. KNOOP, 1958). Ein Teil der Osteoblasten differenzieren sich zu Osteozyten. Diese bilden mit den übrigen Osteoblasten die aus Mucopolysacchariden bestehende Grund- oder Kittsubstanz des Knochengewebes.

Neben diesen für den Knochenanbau charakteristischen Osteoblasten und Osteozyten existieren spezifische mehrkernige Knochenzellen, die für den Knochenabbau verantwortlich sind, die sogenannten Osteoklasten. Die Literatur, die sich mit diesen als Osteoklasten bezeichneten Zellen befaßt, ist heute kaum mehr zu

übersehen (Knese, 1963). Nach YOUNG (1962 a u. 1964) und HAM und HARRIS (1971) entstammen die Osteoklasten den gleichen Stammzellen wie die Osteoblasten.

Prinzipiell muß man bei der Besprechung des Knochens zwei verschiedene Struktursysteme unterscheiden :

1. Kompakta
2. Spongiosa

Der kompakte Rindenknochen ist aus einem umfangreichen Lamellensystem aufgebaut, in dem das Osteon die bauliche Einheit darstellt. Es handelt sich beim Osteon um eine Anordnung von Spezial- oder Haver'schen Lamellen, die den sogenannten Haver'schen Kanal mit seinen Blutgefäßen umschließen. Diese Haver'schen Kanäle verlaufen parallel zur Längsachse des Knochens und sind jeweils etwa 1 cm lang. Senkrecht zu den Haver'schen Kanälen verlaufen die Volkmann'schen Kanäle, die die "Generallamellen" durchbohren und sich für den Gefäßanschluß vom Periost verantwortlich zeigen (WATZKA, 1974).

Aufgrund einer geringen Anzahl zellulärer Elemente in der Kompakta und eine schwierigeren Revaskularisation der Haver'schen Systeme wurde eine osteogenetische Leistung der Kompakta lange Zeit abgelehnt (BARTH, 1894). Auch HAM und HARRIS (1971) sprechen der Kompakta nach Transplantation oder Fraktur jegliche spezifische Knochenneubildung ab.

Andererseits konnte aber W. AXHAUSEN (1962), BASSETT et al. (1961), RUEDI und BASSETT (1967) sowie SCHENK und WILLENEGGER (1964) eine osteogenetische Leistung der Knochenkompakta beobachten.

Das der Kompakta aufliegende Periost besteht aus einer äußeren Faserschicht und einer inneren locker gefügten, elastischen gefäß-, nerven- und zellreichen Schicht (Stratum cellulare bzw. Kambiumschicht beim Jugendlichen). HAM und HARRIS (1971) fanden im jugendlichen Periost reichlich osteogene Stammzellen und Osteoblasten. Die Osteoblasten der Kambiumschicht verschwinden nach Abschluß der Verknöcherung und treten nur dann wieder auf, wenn z.B. nach einem Knochenbruch neuer Knochen gebildet werden muß. Was die osteogenetische Potenz des Periostes beim Erwachsenen betrifft, so gehen auch hier die Meinungen sehr stark auseinander.

Die Spongiosa stellt ein trabekuläres Maschenwerk dar, dessen Zwischenräume man als erweiterte Haver'sche Kanäle bezeichnen kann. Nach LONGACRE J.J. (1964), ähnelt die Spongiosa dem kompakten Knochen, ist aber insofern unterschiedlich, da komplette Osteone nur in verdichteten Trabekeln zu finden sind.

In der Spongiosa spielen sich die Hauptumbauvorgänge des gesamten Skelettsystems ab. Dabei ist die Umbaurate etwa dreimal so groß wie in der Kompakta (FROST, 1963). Durch die aufgelockerte Spongiosastruktur ist

eine Ernährung der zellulären Elemente durch Diffusion leicht möglich.

Der Knochen stellt aufgrund seiner Mineralisation ein einzigartiges Gewebe dar.

Da sein komplexes Gefäßsystem Beobachtungen nicht leicht zugänglich ist, sind zahlreiche Studien über die Blutversorgung angestellt worden.

Die klassische anatomische Beschreibung des Gefäßbettes stammt von LANGER (1876).

Desweiteren sind von LEXER und Mitarbeiter (1904), DOAN (1922), DRINKER und Mitarbeiter (1922) und JOHNSON (1927) Forschungen durchgeführt worden, die Licht hinter die noch unklare Gefäßversorgung des Knochens bringen sollten. Grundlegende Erkenntnisse erhielt man allerdings erst, seit man in der Lage ist, mit speziellen Techniken das komplette Gefäßsystem darzustellen.

Im Jahre 1911 wurde die "Spaltholztechnik" entwickelt, die auf unterschiedlichen Brechungsindices von Knochen und injiziertem Material beruht.

Von BARCLAY (1951) wurde die Mikroangiographie als besondere Form der Mikroradiographie eingeführt, wobei Vinylplastic, India-Tink, Berliner Blau und Bariumsulfat (Mikropaque) als Kontrastmittel verwendet wurden.

Die "Stereoskopische Mikroangiographie" ist 1953 von BELLMANN eingeführt und von PETERSEN und Partner (1959) zur Studie des Knochenkreislaufes angewendet worden.

Desweiteren wurden zur Gefäßanalyse des Knochens auch Radioisotopentechniken (TUCKER, 1950; BOYD und Mitarbeiter, 1955) sowie Druckmessungstechniken des intramedullären Druckes entwickelt (STEIN und Mitarbeiter, 1958).

Mit Injektionstechniken gelang, wie schon DOAN (1922 b) gezeigt hat, vor allem am Röhrenknochen die Darstellung eines geschlossenen Kreislaufes aus perforierenden Arterienästen, arteriellen Kapillaren, venösen Sinus verschiedener Größenordnung und deren Abfluß in die periostalen Venenplexus. Von BROOKES (1958 b) und BROOKES und Mitarbeiter (1961) b) sind die Beobachtungen auf den Kreislauf in der Rindenschicht des Knochens ausgedehnt worden. Nach KINOSITA et al. (1956) und BRANEMARK (1959) stellt das Strombett des Knochenmarkes ein völlig geschlossenes System dar.

Die Arteriolen teilen sich dichotom und gehen nach mehr oder weniger gestrecktem Verlauf in das System der "Sinusoiden" über, d.h. in ein unregelmäßiges Netz vielfach anastomosierender, bogenförmig verlaufender Kapillaren. Diese "sinusoidalen Kapillaren" sind entweder

spindelförmig, dann haben sie nur einen oder zwei Ausgänge, oder sie bilden ringförmige Anastomosen, die meist von mehreren Venolen drainiert werden. Die Arteriolen und die Sinusoide sind durch einige sehr dünne, langgestreckte "Shunt-Kapillaren" direkt mit den Sammelvenen verbunden, wodurch ein Teil der sinusoiden Gefäßräume kurzgeschlossen wird.

Ein Teil der Markkapillaren taucht in die bogenförmigen 10 - 20 μ breiten Haver'schen Kanäle der Kompakta ein, um nach einer gewissen Strecke wieder in die Markhöhle zurückzukehren und in die Sammelvene überzugehen.

Diese aus dem Mark stammenden, die Haver'schen Kanäle passierenden Kapillaren haben einen Durchmesser von 7 - 8 μ . Demgegenüber schwankt der Durchmesser der Sinusoiden zwischen 15 - 60 μ . Der Durchmesser der Arteriolen beträgt nach BRANEMARK 10 μ , der der Venolen 12 μ .

Die Weite der Markstrombahn ist insgesamt in erheblichem Maße von der Markaktivität abhängig. Bei hoher Aktivität erscheint das Kapillarnetz in der Übersichtsvergrößerung besonders dicht, und das Bild wird von weiten Sinusoiden beherrscht, die rhythmische Erweiterung auf das zwei-dreifache ihres Durchmessers aufweisen können. Bei geringer Markaktivität sind dagegen nur wenige Kapillaren und einzelne enge Sinusoiden zu sehen.

Der kompakte Knochen ist aus einem komplexen System longitudinaler Strukturen aufgebaut. Dieses Haver'sche

System wurde von PRITCHARD (1956) und COHAN und HARRIS (1958) detailliert beschrieben. Wie HAM (1952) betonte, erlaubt diese planmäßige Anordnung eine enge Beziehung zwischen Knochenzellen und den Gefäßen der Haver'schen Kanäle. Nach HAM (1952) ist die Kapillardichte des kompakten Knochens außerordentlich hoch.

Aus seiner Studie geht hervor, daß die Entfernung der Haver'schen Kanäle voneinander nicht mehr als $1/5$ mm beträgt, so daß jede Knochenzelle nicht weiter als $1/10$ mm von einer ernährenden Kapillare entfernt ist. HAM leitet alle Haver'schen Gefäße von den periostalen Gefäßen ab, da sie durch Dickenwachstum des Knochens von außen in die Tiefe verlagert werden.

LANGER (1876) und de MARNEFFE (1951) haben immer wieder die Bedeutung der periostalen Gefäße bei der Versorgung der Kompakta hervorgehoben. Andere Autoren lehnen eine Beteiligung der Periostgefäße an der Gefäßversorgung des kompakten Knochens ab, schließen aber nicht aus, daß die Periostgefäße mit Rindengefäßen in Verbindung stehen, ohne daß sie notwendigerweise eine bestimmte Rindenregion versorgen.

NELSON und Mitarbeiter (1961) fanden in umfangreichen Studien Endothelröhren im Knochen, die den Arteriolen des Periostes entstammen und als Kapillaren interpretiert werden. Nach Meinung dieser Autoren könnten diese Gefäße dann Bedeutung erlangen, wenn die Nahrungsversorgung im Knochenmark durch Frakturen oder experimentell durch Unterdrückung der Blutzufuhr gestört ist.

GÜTHMANN (1961) zeigte, daß bei experimentellen Brüchen die größte Reaktion im umgebenden Gewebe zu finden ist.

BROOKES und Partner (1961 b) sowie RHINELANDER et al. (1968) beobachteten einen zentrifugalen Blutstrom durch die Rinde, wobei das arterielle Blut aus dem medullären Gefäßsystem nach Passage der cortikalen Kapillaren über das periostale Gefäßsystem in die Venen der umgebenden Muskulatur abgeleitet wird.

RHINELANDER behauptet, daß sich die meisten intracorticalen Kapillaren in einem funktionellen Ruhestand befinden. Unter pathologischen Bedingungen sei bei erhaltener Integrität der medullären und periostalen Gefäßverbindungen eine zentripetale Strömungsumkehr möglich.

NELSON und Partner (1961) erteilen dem Marksystem die Hauptversorgung des kompakten Knochens zu. Das periostale Gefäßsystem sei nur ein Reservesystem im Falle einer Verletzung der Markgefäße. Diese Autoren halten eine aufgeteilte Gefäßversorgung der Rinde sowohl durch Mark-, als auch durch Periostgefäße für nicht evident. BROOKES et al. (1961 b), RHINELANDER (1968) sowie SCHWEIBERER (1970) schreiben dem periostalen Gefäßsystem bei der Blutversorgung der Knochenrinde ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle zu.

Nach HAMMERSEN und SEIDEMANN (1964) entstammt das periostale Gefäßsystem aus drei Netzen von Arterien und Venen, die einen engen Kontakt zu den muskulären Gefäßen haben, während die Verbindung zum cortikalen und medullären Gefäßsystem schwächer ist.

2.2 REVASKULARISATION AUTOLOGER KNOCHENTRANSPLANTATE

Für die Einheilung eines frei transplantierten Knochenspanns, der bei seiner Präparation zwangsläufig von der Gefäßversorgung abgetrennt wird, ist die Revaskularisation bzw. der Wiederanschluß an das Gefäßsystem von entscheidender Bedeutung. Die Ernährung der zellulären Elemente durch Diffusion in freien Knochentransplantaten kann nur von Zellen an Oberflächen bzw. in frei zugänglichen Knochenhöhlen genutzt werden. Das Überleben der Zellen in den Haver'schen Systemen und der Osteozyten im Knochen ist von der Revaskularisierung der Transplantate abhängig.

Daher ist für die Vitalerhaltung dieser osteogenen Zellen bei der Knochentransplantation ihr Sitz im Knochen von entscheidender Bedeutung.

Mit dem Problem der Revaskularisation autologer Knochentransplantate haben sich mehrere Autoren auseinandergesetzt. Es ist sicher sehr schwer, die einzelnen Ergebnisse der verschiedenen Revaskularisationsversuche miteinander zu vergleichen, da verschiedene Versuchsbedingungen vorlagen. So stellen die Struktur des Knochens (Spongiosa oder Kortikalis), die Größe und Form des Knochenspanns, ob er nun mit oder ohne Periost bedeckt ist sowie die biologischen Eigenschaften, die Darstellungsmethoden der Gefäße und die Fixierung des Transplantates mögliche Faktoren dar, die die Ergebnisse der Revaskularisationsversuche entscheidend differieren lassen.

Bereits von RADZIMOWSKY und SALTYSKOW (zit.n. MARCHAND, 1901), von BARTH (1893, 1894) und von MARCHAND (1901) wurden Gefäßinjektionen bei Knochentransplantaten vorgenommen.

Da die Beobachtungszeiten aber meist zu lang waren - bei MARCHAND lagen sie zwischen 10 und 90 Tagen - fanden sich bei den genannten Autoren lediglich in den fibrös durchwachsenen Markräumen und Knochenkanälen mit Injektionsmasse gefüllte Gefäße, die ebenso gut dem Lagergewebe wie dem Transplantat entstammen konnten.

Eine sehr frühzeitige Revaskularisation im Transplantationsgebiet sah HANCOX 1947.

Diese ist wahrscheinlich auf eine Verbindung einer Wirtskapillare mit dem Ende eines Transplantatgefäßes zurückzuführen (End-zu-Endanastomose).

Nach HANCOX würde also ein vorläufiges "Erroten" des Fragmentes stattfinden, bevor ein vollständiger und geschlossener Gefäßkanal hergestellt ist. Diese Beobachtung machte HANCOX in einigen Präparaten, bei denen lebender Embryoknochen in eine Hühnerchorioallantois eingesetzt wurde bereits in der 5. Stunde nach erfolgter Transplantation. Er sieht als sicher an, daß transplantierte Stücke lebenden Knochens nicht nur überlebten, sondern daß durch die Tätigkeit ihrer überlebenden Zellen sie frische Knochensubstanz ablagerten. Es scheint so, als ob sich bei dieser sehr schnellen Vaskularisation kurze Kapilllarkeime vom Wirt her entwickeln und sich mit dem Gefäß verbinden, die vorher schon im transplantierten Fragment existierten.

Demgegenüber konnten HAMMACK, ENNEKING und JACKSON (1960) in ihren Rattenversuchen mit kortikalen Autotransplantaten erst nach 2 Tagen ein positives Ergebnis der Revaskularisation des Knochenspanes nachweisen. Den gleichen Erfolg hatten bereits 1919 GALLIE und ROBERTSON, die ebenfalls nach 2 Tagen gefüllte Kapillaren in offenen Haver'schen Kanälen der Kompakta beobachteten.

Zu den Autoren mit einer Revaskularisationserfolgsquote von 2 Tagen reihen sich neben GRAF (1959) und ZEISS et al. (1960) auch DELEU und TRUETA (1965) ein, die hauptsächlich Revaskularisationsversuche autologer Knochenspäne an Ratten durchführten. In einigen Versuchen der Autoren DELEU und TRUETA, die allerdings dann an Schweinen vorgenommen wurden, konnten sie erst nach 4 Tagen eine beginnende Revaskularisation sehen. Der rasche Gefäßanschluß wird von diesen Autoren übereinstimmend auf ein En-zu-Endanastomose von Lager- und Transplantationsgefäßsystem zurückgeführt.

Von sehr vielen Autoren konnte eine Gefäßfüllung im autologen Knochentransplantat nach 5 Tagen beobachtet werden. Zu diesen Autoren zählen BERTINI (1926), URIST (1953), KROGER und LÜSCH (1964 a und b), FORGON und BORNEMISZA (1970) sowie ENOMOTO (1971), wobei bei BERTINI, URIST und ENOMOTO der 5. Tag nach Transplantation auch gleichzeitig der erste Untersuchungstag war.

KROGER und LÜSCH (1964 a u. b) machten diese Beobachtungen an Kaninchen, bei denen sie Beckenkammtransplantation hinter den Ohren durchführten. Einige Transplantatgefäße bekamen innerhalb der ersten 5 Tage nach Verpflanzung Anschluß an Lagergefäße und beteiligten sich so an der Vaskularisation der Transplantate, wobei die ersten Präparate am dritten postoperativen Tag untersucht wurden. Bei der Auswertung dieser Knochenspäne fanden sie mit Farbstoff gefüllte Gefäße nur im Periost. Am fünften Tag p. op. waren dann einige Randgebiete der Markräume und größere Abschnitte des Periostes - zusammen nur ein Bruchteil des gesamten Spanvolumens - mit Gefäßen versorgt.

FORGON und BORNEMISZA (1970) untersuchten an Hunden zwischen dem 3. und 42. Tag nach Transplantation die Revaskularisation autologer Knochenspäne und stellten fest, daß bei 5 Tage alten Transplantaten die Gefäße nahezu überall die Grenzen zwischen Transplantat und aufnehmenden Knochenbett überschritten haben. Die Gefäße drangen schon am 5. - 7. Tag, wenn auch unregelmäßig annähernd 1-2 mm tief in das Transplantat. 3 Tage alte Autotransplantate sind hier noch fast gefäßfrei. Die Grenze zwischen Lagergewebe und Transplantat wird aber schon stellenweise durch hineinwachsende Gefäße überschritten. Schon in diesem frühen Stadium ist die netzartige Anhäufung der Gefäße des Transplantates zu erkennen.

Ebenfalls an Hunden wurde von ENOMOTO (1971) nach 5 Tagen einige Gefäßanschlüsse beobachtet. Die Vaskularisation des autologen Knochentransplantates war nach 30 Tagen komplett.

STRINGA (1957), LENDRODT und HÜLTJE (1976) und HÜLTJE (1976) sahen nach 7 Tagen die ersten Gefäßanschlüsse zwischen Knochentransplantat und Lagergewebe. In der Studie von STRINGA war der 6. Tag nach der Transplantation der erste Untersuchungstag, wohingegen bei LENDRODT und HÜLTJE bereits am 5. Tag postoperativ die erste Füllung des Blutgefäßsystems mit einem blaugefärbten Gelatinegemisch erfolgte.

LENDRODT und HÜLTJE (1976) konnten in ihren tierexperimentellen Untersuchungen an Hunden nachweisen, daß solide Rippentransplantate am 6. - 7. postoperativen Tag sowohl in Kompakta - als auch im Spongiosabereich Anschluss an die Blutzirkulation gewinnen. Der Zeitraum zwischen Verpflanzung und Revaskularisation war jedoch für ein vollständiges Überleben der Transplantate zu lang, so daß insbesondere die zentralen Pflanzlingspartien der Nekrose anheimfielen. In relativ kurzen Zeiträumen wurden die Rippentransplantate jedoch von Lagergewebe durchwachsen, wodurch der Ersatz des nekrotischen Transplantates durch Knochenneubildung eingeleitet wurden.

DAMBE (1971) untersuchte die Revaskularisation osteotomierter langer Röhrenknochen nach stabiler und instabiler Osteosynthese durch intra- und extramedullärer Kraftträger und sah ebenfalls nach 7 Tagen eine Hypervaskularisation aller Gefäßsysteme, die sich nach Konsolidierung langsam wieder zurückbildete. Hier erfolgte die eigentliche Revaskularisation der Kortikalisabschnitte unter der Druckplatte durch das medulläre Gefäßsystem.

Nach BERG (1972) überbrücken nach Knochenbrüchen mit geringflächigen Haematomen und guter Stabilisierung die Arteriolen den Bruchspalt in den ersten 7 Tagen. Die Kontinuität wird zwischen dem 10. und 14. Tage wiederhergestellt. Über erweiterte Volkmann'sche Kanäle, die mit den Haver'schen Kanälen anastomosieren, erreichen Arterien und Arteriolen aus dem Knochenmark die äußeren Zonen der Kortikalis, um auch die unmittelbar unter der Platte gelegenen Kortikalisschichten zu versorgen. Im Gegensatz zu DAMBE (1971) war der erste Untersuchungstag bei BERG (1972) nicht der 7. Tag, sondern bereits der 3. Tag.

KIEHN und Mitarbeiter (1952) beobachteten an lebenden Transplantaten innerhalb von 12 Tagen nach der Transplantation eine Revaskularisation, wie man an den Blutgefäßen sieht, die direkt in das Transplantat einwachsen. Solche Transplantate werden völlig in den Wirt integriert. Diese Ergebnisse, die man an Beckenkammtransplantaten an Ratten erhielt, wurden von den Autoren mittels radioaktiven Phosphors und einer Transparenzkammer erzielt.

KIEHN und Mitarbeiter untersuchten die Entwicklung der Gefäßanschlüsse in frischen autologen Transplantaten innerhalb einer Transparenzkammer bereits vom ersten postoperativen Tag an.

Wie bereits erwähnt, zählt MARCHAND (1901) zu den Autoren deren Untersuchungszeiträume bei Revaskularisationsversuchen erst mit dem 10 Tag begannen, so daß hier im Durch-

schnitt ein Gefäßanschluß nach 14 Tagen erst beobachtet werden konnte.

DOKER et al. (1976) konnte in seiner Arbeit über Beckenkammtransplantation im Unterkiefer von Hunden unter belastungsstabilen Verhältnissen mittels Gefäßfüllung durch rotgefärbtes Plastoid ebenfalls nach 2 Wochen Gefäßanschlüsse zwischen Knochenspan und Lagerknochen feststellen. Nach DOKER et al. tragen Kompakta, Spongiosa und Wirtspcriost zur Versorgung des Knochenspans bei. Die Gefäßinjektionen wurden bei 4 Hunden mit dem zeitlichen Abstand von 2, 4, 8 und 16 Wochen auf die Operation vorgenommen.

Grundsätzlich ist zu bemerken, daß die Revaskularisation autologer Knochenspäne dann leichter und schneller erfolgt, wenn die trabekuläre Struktur des Transplantates senkrecht zur Ursprungsebene der Gefäße verläuft. Erschwert ist sie jedenfalls dann, wenn die trabekuläre Struktur im Transplantat mit der Basis parallel verläuft. Die Meinung vertreten STRINGA (1957) sowie FORGON und BORNEMISZA (1970).

Alle diese Untersuchungen gehen den Beweis dafür, daß zelluläre Elemente im autologen Knochentransplantat unter gewissen Voraussetzungen zumindest für einen gewissen Zeitraum überleben können.

2.3. RUHIGSTELLUNG FREI TRANSPLANTierter KNOCHENSPÄNE

Die Knochenneubildung im autologen Transplantat wird heute sowohl den überlebenden Zellen des Transplantates selbst, als auch der induktiven Leistung weitgehend undifferenzierter mesenchymaler Zellen des Lagergewebes zugeschrieben (W.AXHAUSEN, 1951, 1952, 1962; CHALMERS, 1959; CHALMERS und RAY, 1962; WILLIAMS, 1962; HEIPLE et al. 1963; RAY u. SABET, 1963; BURWELL, 1965; SCHWEIBERER, 1970; BONIFOGLIO u. JETER, 1972; BASSETT, 1972). Um nun einen unkomplizierten Ein- und Umbau eines autologen Knochenspanns zu ermöglichen, ist es notwendig, eine größtmögliche Anzahl von determinierten Zellen im Transplantat vital zu erhalten. Hierfür ist neben einem optimal engen Anlagerungsspalt zwischen Lagerknochen und Transplantat auch eine absolute mechanische Ruhe des Anlagerungsspaltes notwendig. Dadurch wird die Bildung eines Hämatoms zwischen knöchernem Lager und Transplantat vermieden und das Einsprossen bzw. die Einlagerung von umgebenden Weichteilen verhindert (BASSETT, 1972). Daneben ist die Vitalerhaltung der osteogenetischen Zellen im transplantierten Knochenspan von der Größe des Transplantates abhängig. Im Zentrum eines großen Knochenspanns haben determinierte Zellen nur eine sehr geringe Chance zu überleben.

Die von BASSETT erhobenen Forderungen lassen sich theoretisch bei Adaption und Fixation von Transplantat und knöchernem Lager mittels Druckplattenosteosynthese in optimaler Weise erfüllen.

Da bei der Transplantateinheilung prinzipiell die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten wie bei der Frakturheilung nach konservativer Versorgung (HAM und HARRIS, 1956, 1971), kann angenommen werden, daß bei der Adaption und der Fixation von Knochen-
transplantaten mit Osteosyntheseplatten und axialer Druckentwicklung auch die gleichen histologischen Vorgänge der direkten oder primären Knochen-
heilung zu beobachten sind wie bei der Frakturheilung nach druckstabiler Osteosynthese.

Durch die konische Anordnung der Schraubenlöcher läßt sich das Transplantat unter Druckentwicklung optimal an den Lagerknochen annähern, so daß nur ein minimaler Spalt zwischen Knochenspan und Lagergewebe entsteht. Ein ungehindertes Einsprossen der Kapillaren aus dem knöchernen Lager ist möglich. Die Funktionsstabilität läßt eine sofortige mechanische Belastung zu, wodurch die Zellspezialisierung im Sinne des Intrinsicfactors bei der Knocheninduktion gefördert werden kann (ANNERSTEN, 1940; BERTELSEN, 1944; OBERDALHOFF, 1947; LACROIX, 1947; WILLERSTAEDT et al. 1950; BRIDGES u. PRITCHARD, 1958).

3.0 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Da nach OBERDALHOFF (1947), MATZEN (1952), W.AXHAUSEN (1962) und FRIES (1969) bei Hunden im wesentlichen die gleichen histologischen Bilder wie beim Menschen vorliegen, desweiteren der Knochenumbau sowie die Knochenregeneration bei diesen Tieren ähnlichen Gesetzmäßigkeiten unterliegen, wurden zur tierexperimentellen Studie 12 absolut reinrassige Beagle-Hunde (Firma BOEHRINGER, Ingelheim) ausgewählt. Durch die Homogenität des Tiermaterials wird die Vergleichbarkeit der Ergebnisse in verschiedenen Untersuchungszeiträumen gewährleistet (REUTHER, 1977).

3.1 Operative Technik

Die Eingriffe wurden standardisiert in Intubationsnarkose mit einer i.v. Einleitung durch 1 mg/kg Körpergewicht Polamivet (1-Polamidon) und 4 mg Combelen durchgeführt.

Zunächst wurden im Unterkiefer beidseits der dritte und vierte Prämolare sowie der erste Molar extrahiert. Nach vollständiger Abheilung drei Monate nach diesem Eingriff erfolgte die Unterkieferanteilresektion beidseits mit sofortiger Rekonstruktion durch die freie Transplantation von Beckenkammknochen. Unter sterilen Kautelen wurde von einem submandibulären Y-Schnitt ausgehend der Unterkiefer epiperiostal bis zum Alveolarrand dargestellt. Die Adaptation der Druckplatte erfolgte bereits vor der Unterkieferanteilresektion, um die bestehenden Okklusionsverhältnisse nicht zu verändern.

Beim Gewinnen der Beckenkammtransplantate sowie bei der Unterkieferresection wurde auf sorgfältige Kühlung mit NaCl zur Vermeidung von Nekrosen geachtet.

An die Passgenauigkeit der subperiostal gewonnenen Transplantate wurden Maßstäbe gelegt, wie sie auch unter klinischen Bedingungen zu erfüllen sind. Die Stabilisierung der Transplantate erfolgte mit einer speziell konstruierten Druckplatte mit Meßeinrichtung (s. REUTHER, 1977).

Nach erfolgtem Wundverschluß führten wir eine Antibiotikaprophylaxe über 5 Tage mit jeweils 2 ml Streptopenicillin 25% i.m. durch.

Prä- und postoperativ waren je 4 Tiere in einem Versuchsstall von 4 m² Innenraum und einem Freigehege von 8 m² untergebracht, welche durch eine Klapptür miteinander verbunden waren. Mit einer Breikost, bestehend aus Dosenfleisch (Firma Simon) und Haltungsfutter Type 424 (Firma Zahn), wurden die Hunde über den gesamten Untersuchungszeitraum ernährt.

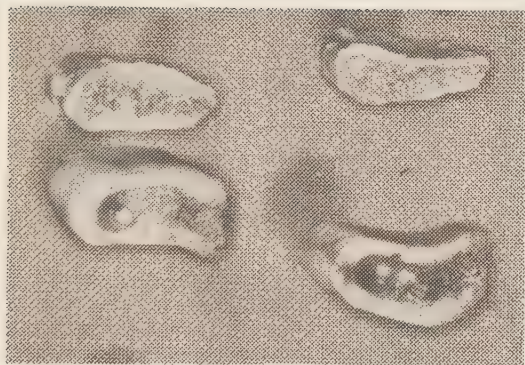


Abb. 1 : Unterkieferknochen nach erfolgter
Teilresektion beidseits (unten);
Beckenkammtransplantat mit unterschied-
lich großen Anlageflächen (oben).

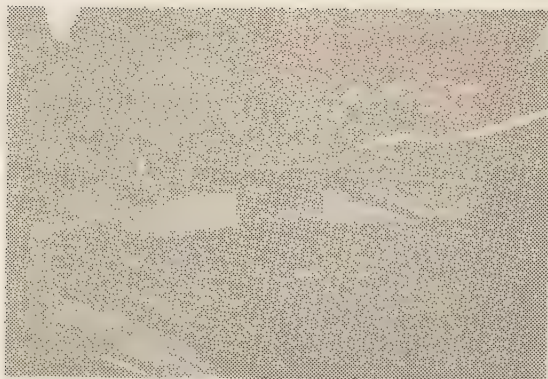


Abb. 2 :

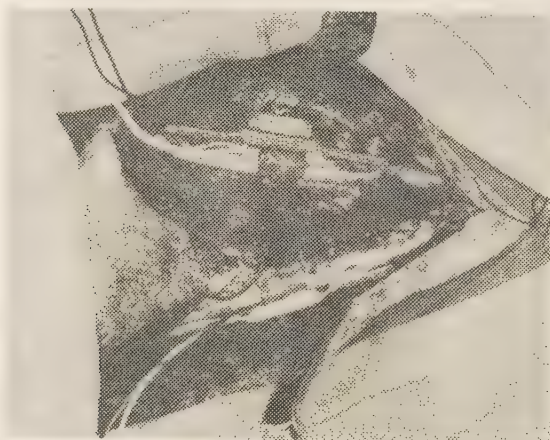


Abb. 3 :

In Abbildung 2 und 3 sind die etwa 15 mm langen Beckenkammtransplantate zu erkennen, die beidseits im horizontalen Unterkieferast adaptiert und mittels Druckplatten stabilisiert wurden.

3.2 Mikroangiographische Untersuchungen

Mit Hilfe der angiographischen und mikroangiographischen Technik ist es möglich, aufschlußreiche Informationen über Knochenbruchheilung und über die arterielle Blutversorgung in einem unversehrten und in einem frakturierten oder heilenden Knochen zu erhalten.

Bereits 1904 hat LEXER und seine Schule eine Arbeit über die Blutversorgung des Knochen veröffentlicht, wobei die Methoden allerdings sehr kompliziert und wenig leistungsfähig waren. Dagegen entwickelte SPALHOLTZ (1911) ein für Mensch und Tier gleichermaßen geeignetes Verfahren. HAMMERSEN und SEIDEMANN (1964), OLERUD et al. (1968) bedienten sich ebenfalls dieser Methode und erzielten sehr gute Ergebnisse.

Im Jahre 1947 wurde erstmals von TRUETA und BARCLAY et al. die mikroangiographische Untersuchungsmethode zur Untersuchung von Nierengefäßen herangezogen. BARCLAY (1951) führte die eigentliche Mikroangiographie in die Forschung ein, TRUETA und HARRISON (1953) benutzten dieses Verfahren zur Darstellung von Knochengefäßen.

Für unsere Untersuchungen haben wir das von RHINELANDER und BARAGRY (1962) modifizierte Verfahren angewandt. Zur röntgenologischen Darstellung erfolgte die Gefäßinjektion mit Micropaque.

Dieses korpuskuläre Kontrastmittel der Firma DAMANEY & Co/England (Vertrieb in Deutschland: Firma Nicolas) ist eine Wasserkolloidlösung mit 1 g Bariumsulfat pro 1 ml Lösung.

Durch die garantierte Teilchengröße von $0,5\ \mu$ wird eine embolische Füllung des arteriellen Gefäßsystems bis dem kapillaren Bereich gewährleistet (RHINELANDER und BARAGRY, 1962; FRICK und PERSCH, 1969; BERG, 1972).

3.2.1 Technisches Vorgehen

Wir überprüften die Einheilungsphase und Revaskularisierung am 2., 5., 10., 20., 30., 60. und 90. Tag postoperativ. Unter der oben erwähnten Narkose wurde bei den Tieren die Arteria Carotis und Vena jugularis beiderseits freipräpariert und ein Venenkatheter eingeführt und fixiert. Vor der Füllung des arteriellen Gefäßsystems mit Micropaque erfolgte eine Spülung mit 200 ml einer körperwarmen 0,9 %igen Kochsalzlösung unter Zusatz von 5000 E Heparin mit einem Druck von 120 - 130 mm Hg.

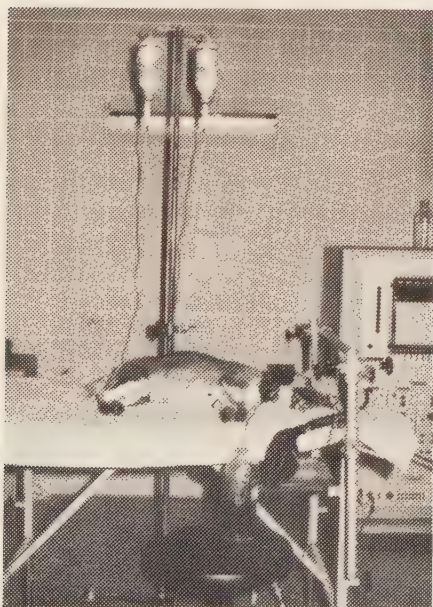


Abb. 4 :
Micropaqueinfusionen ins
arterielle Gefäßsystem
bei einem Druck von
120-130 mm Hg.

In mehreren Infusionsflaschen wurde eine körperwarme Mischung von Micropaque und Kochsalzlösung bereitgestellt. Beginnend mit einer 20 %igen Verdünnung wurde das arterielle Gefäßsystem mit einem Druck von ca. 120 mm Hg perfundiert. Aus dem geöffneten Venenkatheter lief zunächst Blut in die Auffangsgefäße, das jedoch rasch mit Micropaque gemischt war. Nach etwa 15 Minuten entleerte sich aus dem Venenkatheter nur noch weißliches Micropaquegemisch. Nach vollständigem Durchfluß der oben beschriebenen Kontrastmittelmischung infundierten wir noch weitere Suspensionen von jeweils 150 ml in aufsteigender Konzentration von 30 %, 40 % und 50 %. Bei dieser Kontrastmittelfüllung der Arteria carotis communis beiderseits kamen die Tiere ad exitum.

Unterhalb der Kathetereingänge wurde anschließend der Kopf des Hundes vom Rumpf getrennt und in 10 %igem Formalin fixiert. Für weitere 24 Stunden perfundierten wir das Kopfpräparat zusätzlich mit 500 ml der Micropaquestammlösung. Mit Schere und Skalpell wurde der Weichteilmantel des Unterkiefers abpräpariert und der Unterkiefer selbst exartikuliert.

Nach erfolgter Entnahme der Unterkiefer fertigten wir Röntgenübersichtsaufnahmen an, um den Verlauf der Heilungsvorgänge zu kontrollieren (Film: Du Pont Cronex - 2 Safety).

Die Einbettung der etwa 4 cm großen Knochenpräparate erfolgte in Methyl-Methacrylat (JANSEN, 1950). Durch eine spezielle Halterung des Unterkieferknochens wurde dabei eine standardisierte Einbettrichtung des Knochenpräparates erreicht.

Mit dem Hartschnittmikrotom (Firma ZEISS) wurden von den Knochenbälkchen in cranio-caudaler Reihenfolge Semi - Dünnschnitte angefertigt. Jedes einzelne Präparat wurde anschließend zwischen zwei planen Glasplatten auf die gewünschte Dicke von 100-430 μ geschliffen. Dazu wurden Schleifmittel verschiedener Korngröße verwendet. Danach erfolgte eine zusätzliche Politur der Schliffpräparate mit Schlemmkreide.

Für die mikroangiographischen Untersuchungen wurden die Schliffpräparate in Aethyl-Tetra-Essigsäure (EDTA) entkalkt.

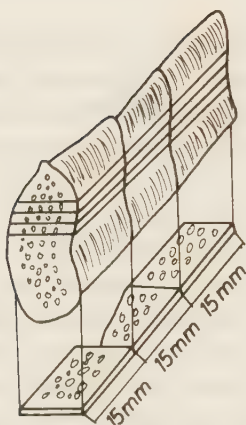


Abb. 5 : Schematische Darstellung des Unterkieferpräparates mit dem medial liegenden Knochenspan vom Beckenkamm; Andeutung der cranio-caudalen Schnittrichtung.

3.2.2 Untersuchungstechnik

Mikroradiographie läßt sich als Röntgendarstellung im Mikrobereich definieren (FREITAG et al. 1974). Bei der Kontaktmikroradiographie werden Dünnschnitte oder Schiffe in einem Vakuum in sehr engem Kontakt mit einem Röntgenfilm mit hochauflösender Emulsion gebracht und einer weichen Strahlung ausgesetzt (FREITAG et al. 1974; JOWSEY, 1974). Die Auswertung erfolgt durch mikroskopische und photographische Darstellung. Ziel der Mikroradiographie sind hochauflösende und kontrastreiche Negative. Diese Voraussetzungen sind nur gegeben,

wenn Objekt-Filmabstand, Fokusabstand und Objektdicke sich in exakten Relationen bewegen. Desweiteren ist die Korngröße des zu verwendenden Films für hochauflösende Negative verantwortlich.

Von entscheidender Bedeutung für eine optimale Qualität des Negativs ist die Röntgenstrahlung, d.h. ihre Wellenlänge. Je weicher die Strahlung, um so geringer ist auch die Energie der im Präparat und Emulsion freigesetzten Photoelektronen und um so besser ist die Auflösung (FREITAG et al. 1974).

Der Kontrast hängt von der Steilheit der Emulsion, von der Dicke des Präparates und dessen maximalen Mineral Salzgehalt (Konzentration) sowie von der Wellenlänge der Strahlung ab (FREITAG und RUPPERSBERG, 1972). Von äußerster Wichtigkeit ist die optimale Belichtungszeit für verschiedene Präparatdicken. Diese ermittelten wir in einer Versuchsserie. Nach Anfertigung der Schliffpräparate in einer Dicke von 100-430 μ konnte die mikroradiographische Auswertung in Homburg-Saar vorgenommen werden. Dazu stand uns ein Vakuumröntgengerät Mikroflex II (Firma SIEMENS) zur Verfügung, in dem die Präparate in Abhängigkeit von ihrer Dicke bei 10 KV und 60 mA auf Scientia Filmen (Emulsionsnummer 10 E 56, Firma Agfa-Gevaert) verschieden lang belichtet wurden (Abb. 6 u. 7). Die Aufnahmen wurden anschließend unter dem Mikroskop beurteilt und photographisch festgehalten.

Dieses ausbaufähige Gerät wurde von Prof. Dr. FREITAG (Homburg-Saar) in Zusammenarbeit mit der Firma SIEMENS entwickelt. Es gestattet die Ausrüstung eines Generators

mit Spannungsglättung und stufenloser Regelung für den Bereich von 6-10 KV. Als Röhre dient eine Sonderanfertigung. Eine Spektrometerröhre der SIEMENS AG mit den üblichen Anodenmaterialien wurde als Sonder- röhre mit einer Titananode ausgerüstet.

Die einzelnen Präparate und der Film wurden in das Oberteil des Gerätes eingelegt. Eine 12 μ starke, mit Hilfe eines Spannringes gestrafften Polyamidfolie (Du Pont) preßt das Präparat an den Film.

Damit die weiche Röntgenstrahlung nicht von der Luft stark absorbiert wird, wurde mittels eines genormten Flansch NW 10 am Oberteil des Gerätes ein Vakuum geschaffen. Durch die Aufteilung der Kammer in einen Tubus und eine Kassette als gesonderte, lichtdichte Einheit ist der Film- und Präparatwechsel besonders vereinfacht.

Die Kassette kann in die Dunkelkammer gebracht und dort erneut für eine Aufnahme vorbereitet werden.

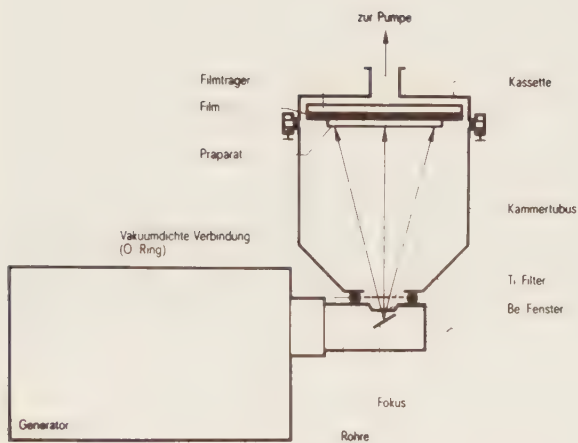


Abb. 6 : Schematischer Aufbau des Mikroröntgengerätes
Mikroflex II (nach FREITAG, 1974)

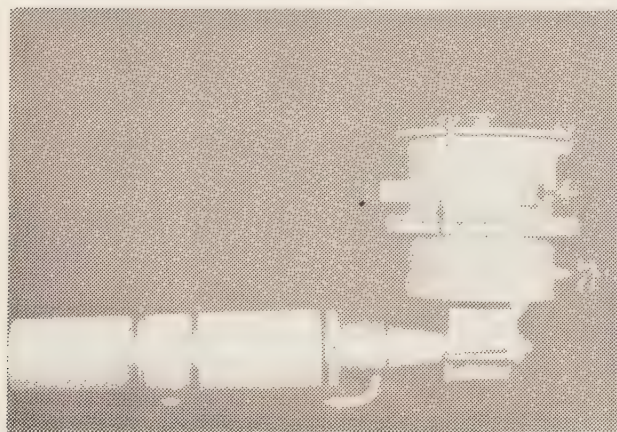


Abb. 7 : Mikroradiographieröhre mit aufgebauter Kammer
(nach FREITAG, 1974).

4.0 ERGEBNISSE

Bereits 2 Tage postoperativ konnten wir mikroangiographisch eine Gefäßdarstellung und eine Füllung der Spongiosa-Hohlräume in den Randbezirken des Transplantats feststellen.

Diese mit Mikropaque gefüllten Bezirke konnten regelmäßig bis in eine Tiefe von 2 mm nachgewiesen werden. In einigen Präparaten fanden wir schon zu diesem frühen Zeitpunkt auch im Zentrum der Transplantate Gefäßbezirke mit Mikropaque gefüllt. Diese frühe Gefäßdarstellung der Transplantate, die sich nicht nur in den weiten Spongiosaräumen, sondern vor allem auch in den Kompaktgefäßen zeigte, ist allerdings nur in Ausnahmefällen zu sehen. Wahrscheinlich ist sie auf End-zu-Endkontakt von Gefäßen des Lagerknochens und des Transplantats zurückzuführen.



Abb. 8 : Mikropaquefüllung der Transplantatgefäße und Spongiosahohlräume in einer Ausdehnung von 2 mm bereits 2 Tage postoperativ (Schnittdicke 250 μ : 4-fache Vergrößerung).



Abb. 9 : 2 Tage postoperativ deutliche Kontrastmitteldarstellung im Transplantat, streckenweise zentrale Mikropaqueablagerungen in Spongiosahohlräumen (Schnittdicke 340 μ ; 4-fache Vergrößerung).

In den Präparaten 5 Tage postoperativ war bereits eine deutliche Zunahme der Gefäß- und Spongiosafüllung mit Kontrastmittel zu beobachten. Bis in eine Tiefe von 3-4 mm waren die Transplantatgefäße regelmäßig darstellbar.

10 Tage postoperativ war in der Mehrzahl der Präparate eine Wachstumstiefe der einsprossenden Gefäße von 5-6 mm darzustellen.

Bemerkenswert ist die ständig zunehmende Füllung zentraler Transplantatabschnitte mit Mikropaque. Die Transplantatbezirke mit weitgehender Gefäßfüllung nahmen also im Vergleich zu 5-Tage-Präparaten deutlich zu (Abb. 10).

Zu einer vollständigen Vaskularisation war es in allen Präparaten 20 Tage postoperativ gekommen (Abb. 11). Im Gegensatz zu den 10-Tage-Präparaten, bei denen hauptsächlich Gefäßanschlüsse im Bereich der Spongiosa zu verfolgen sind, erkennt man bei 20 Tage-Präparaten auch mit Kontrastmittel gefüllte Kompaktgefäße.

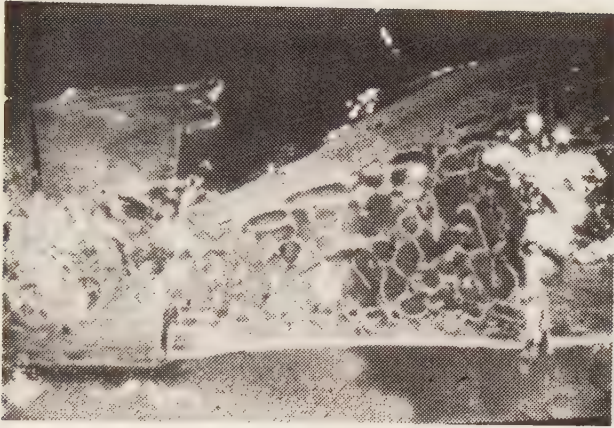


Abb. 10 : Gefäßfüllung bis zu einer Tiefe von 5-6 mm
mit deutlicher Darstellung zentraler Transplan-
tatabschnitte mit Kontrastmittel
(Schnittdocke 100 μ ; 4-fache Vergrößerung)

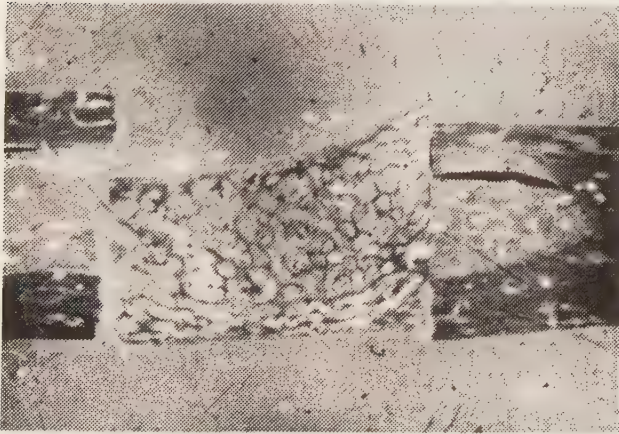


Abb. 11 : 20 Tage postoperativ; Kontrastmittelfüllung
der Gefäße in Spongiosa und Kompakta
(Schliffpräparat 200 μ ; 4-fache Vergrößerung).

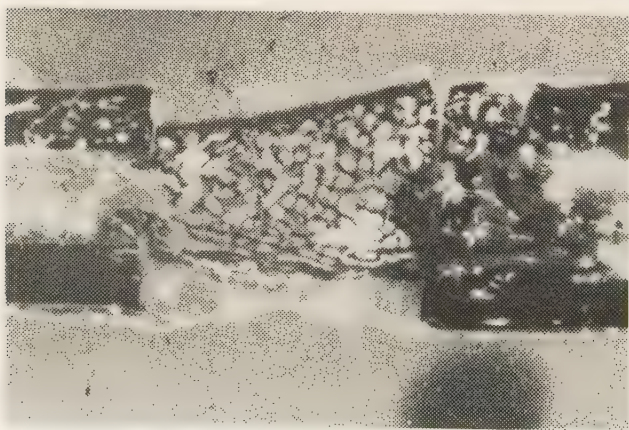


Abb. 12 a u. b: Zunahme der Gefäßquerschnitte im Transplantat in 30 Tage-Präparaten bei vollständiger Darstellung des Transplantatgefäßsystems (Schnittdicke 350 μ ; 4-fache Vergrößerung).

Die Revaskularisation des Beckenkammtransplantates ist 30 Tage postoperativ vollständig abgeschlossen, wobei eine deutliche Zunahme der Gefäßquerschnitte im Transplantat verglichen mit denen des Lagerknochens festzustellen ist. Eine ständige zunehmende Gefäßdarstellung in der Kompakta ist auffallend (Abb. 12 a u. b).

Diese bemerkenswerte Erweiterung der Gefäßlumina im transplantierten Knochenspan 30 Tage postoperativ ist bereits 60 bzw. 90 Tage postoperativ nicht mehr zu erkennen. Ebenfalls nimmt die Anzahl der mit Kontrastmittel gefüllten Transplantatgefäße deutlich ab (Abb. 13 u. 14).



Abb. 13 : Deutliche Verengung der Gefäßlumina bei 60 Tage-Präparaten verglichen mit 30 Tage-Präparaten gleicher Schnittdicke (Schnittdicke 350 μ ; 4-fache Vergrößerung).



Abb. 14 : 90 Tage postoperativ Reduzierung der mit Kontrastmittel gefüllten Transplantatgefäße sowie Verengung der Gefäßlumina (Schnittdicke 250 μ ; 4-fache Vergrößerung).

5.0. DISKUSSION :

Heute darf als wissenschaftlich gesichert gelten, daß bei der Einheilung autologer Knochenspäne die Osteoneogenese von den durch Induktion aktivierten Mesenchymzellen des Lagergewebes auch von überlebenden determinierten Zellen des Knochenspanns selbst geleistet werden kann (W.AXHAUSEN, 1951, 1952, 1962; BASSETT, 1972; RAY, 1963, 1972 b; SCHWEIBERER, 1970; CHALMERS, 1959, 1962; BURWELL, 1963, 1964, 1965). Die Transplantateinheilung wurde deshalb von W. AXHAUSEN (1952) als ein zweiphasiges Geschehen bezeichnet, wobei er der zellspezifischen Phase eine überragende Stellung einräumte. Für die Vitalerhaltung dieser determinierten Zellen im Transplantat ist ein rascher Gefäßanschluß an das knöcherne Lager unbedingt notwendig, da eine Zellernährung durch Diffusion nur in geringen Grenzen möglich ist.

Um die Möglichkeiten einer raschen Revaskularisation zu verbessern, hat Bassett 1972 einige grundlegende Forderungen aufgestellt:

1. optimale enge Anlagerung zwischen Knochenspan und knöchernem Transplantatlager, um die Bildung eines Hämatoms zu verhindern und die Einlagerung von Gewebe zu vermeiden.
2. absolute mechanische Ruhe in den Anlagerungsspalten
3. Strukturen gleichen Aufbaus sollen aneinander gelagert werden
4. die Dicke der Transplantate soll auf ein notwendiges Minimum reduziert werden.

Aufgrund theoretischer Überlegungen und in Kenntnis der Ergebnisse bei der Frakturheilung unter druckstabilen Verhältnissen, lassen sich bei Adaptation und Fixation von Lagerknochen und Transplantat mittels Druckplattenosteosynthese diese Forderungen in geradezu optimaler Weise erfüllen. Besonders, wenn man dabei die Feststellung von HAM und HARRIS (1956, 1971), nach denen bei der Transplantateinheilung prinzipiell die gleichen Gesetzmäßigkeiten gelten wie bei der Frakturheilung nach konservativer Versorgung, berücksichtigt. In einer tierexperimentellen Studie haben wir die Einheilung von insgesamt 24 autologen Beckenkammtransplantaten mit mikroangiographischer Technik untersucht. Dabei fanden wir eine rasche Revaskularisation der Transplantate und zwar nicht nur der weiten Spongiosaräume, sondern auch vor allem der Kompaktgefäße.

Unter besonders günstigen Verhältnissen fanden wir bereits nach 2 Tagen p. op. in einigen Präparaten mit Mikropaque gefüllte Gefäße in der Transplantatmitte, was auf eine frühzeitige Wiedereröffnung des transplantateigenen Gefäßsystems schließen läßt. Aufgrund dieser frühen Kontrastmittelfüllung der Gefäße im Transplantat muß vermutet werden, daß es sich hierbei um End-zu-Endanastomosen zwischen Transplantat und knöchernem Lager handelt. Diese frühzeitige Gefäßdarstellung in der Transplantatmitte 2 Tage p.op. stimmt mit den Ergebnissen von GALLIE und ROBERTSON (1919), HANCOX (1947), GRAF (1959), HAMMACK et al. (1960), ZEISS et al. (1960) und DELEU und TRUETA (1965) überein, wobei zu bemerken ist, daß HANCOX bereits schon fünf Stunden nach der

Transplantation einen Gefäßschluß beobachten konnte. In Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen muß die rasche Revaskularisation der Transplantate darauf zurückgeführt werden, daß der frühe Gefäßanschluß neben der optimalen Anlagerung zwischen Transplantat und knöchernem Lager weitgehend vom Zufall abhängig ist, da der sogenannte "Kissing-contact" von Lager- und Transplantatgefäßen hierfür Voraussetzung ist.

Zu einer weitgehenden abgeschlossenen Revaskularisation der Transplantate war es in unseren Präparaten 20 Tage p.op. gekommen, was mit den Ergebnissen von DUCKER et al. (1976) MARCHAND (1901) und ENOMOTO (1971) annähernd übereinstimmt. Diese fast vollständige Darstellung des Transplantatgefäßsystems 20 Tage p.op. mittels der Micropaquefüllung spricht ebenfalls für eine Wiedereröffnung des Transplantat-Gefäßsystems. Im Gegensatz zu der raschen Revaskularisation nach 2 Tagen durch End-zu-Endanastomosen zwischen Transplantat und Lagergewebe kann die Gefäßfüllung im Transplantat bis zum zwanzigsten Tag p.op. durch das rasche Einsprossen von Kapillaren aus dem Lagergewebe mit Anschluß an das vorhandene Gefäßnetz erklärt werden. Ein Durchwachsen der Gefäße aus dem Lagergewebe bis in die Transplantatmitte ist zu diesem frühen Zeitpunkt, 20 Tage p.op. noch undenkbar, da nach CLARK (1936, 1939) die durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeit der Kapillarsprossen 0,22 mm pro Tag beträgt.

In unseren Untersuchungen war in den Präparaten 30 Tage p.op. die Zahl und Weiter der Gefäße im Transplantat am größten. Verglichen mit den Ergebnissen ENOMOTOS (1971),

der in seinen Untersuchungen über die Einheilung vergleichbarer autologer Knochenspäne über eine Kallusbildung erst nach 60 Tagen p.op. die größten Gefäßquerschnitte beobachtete, gingen zu diesem Zeitpunkt in unseren Präparaten die Zahl der Gefäße bereits schon wieder zurück und ihre Lumina wurden enger.

Noch deutlicher war dies in unseren 90 Tage-Präparaten zu verfolgen. Demgegenüber nahm bei ENOMOTO die Anzahl der Gefäße erst 90 Tage p.op. langsam wieder ab. Eine deutliche Verringerung der Gefäßanzahl war hier erst in Präparaten 180 Tage p.op. zu beobachten.

Obwohl prinzipiell die Untersuchungen nicht unbedingt vergleichbar sind, da bei ENOMOTO das Transplantat weitgehend von Knochen umgeben war, so zeigt sich doch, daß bei unseren Untersuchungen die Einheilung und Mineralisierung der Transplantate bei Druckstabilisierung in der Regel schneller abläuft.

Bei vorsichtiger Interpretation und bei Abwägen der verschiedenen Versuchsbedingungen läßt sich hieraus ableiten, daß in unseren Transplantaten wahrscheinlich ein großer Teil determinierter osteogenetischer Zellen vital erhalten werden konnten, und die Knochenneubildung im frei transplantierten Beckenkannspan zu einem großen Teil diesen Zellen zugeschrieben werden kann.

Inwieweit diese Aussage auch für größere Knochenspäne zutrifft, läßt sich aus unseren Untersuchungen nicht ableiten.

Anhand unserer experimentellen Untersuchungen kann man jedoch auch für die klinische Anwendung der Druckplattenosteosynthese zur Adaptation und Fixation von großen Knöchenspänen zur Unterkieferrekonstruktion eine Verbesserung der Heilungsergebnisse erwarten (REUTHER, 1977).

6.0. ZUSAMMENFASSUNG

In einer tierexperimentellen Studie wurde bei Beagle-Hunden die Revaskularisierung von insgesamt 24 autologen Beckenkammtransplantaten zum Unterkieferersatz untersucht. Die Knochenspäne wurden dabei mit einer speziell konstruierten Überbrückungsplatte adaptiert und fixiert. Zur Gefäßdarstellung mit mikroangiographischer Untersuchungstechnik wurde 2, 5, 10, 20, 30, 60 und 90 Tage p.op. eine Micropaque-Kochsalzlösung in steigender Konzentration in die V.jugularis infundiert. Nach Tötung der Versuchstiere wurden vom Unterkiefer Dünnschliffpräparate hergestellt, die röntgenologisch ausgewertet wurden. Dabei fanden wir bereits 2 Tage postoperativ eine Gefäßdarstellung und eine Füllung der Spongiosaräume bis in eine Tiefe von 2 mm. Besonders zu erwähnen ist, daß sich zu diesem frühen Zeitpunkt ebenfalls die Gefäße der Kompakta darstellten.

5 Tage postoperativ sahen wir eine regelmäßige Gefäßfüllung der Transplantate bis in eine Tiefe von 3 - 4 mm.

20 Tage p.op. war die Revaskularisierung der Transplantate weitgehend - 30 Tage p.op. vollständig abgeschlossen. Verglichen mit dem Lagerknochen waren zu diesem Zeitpunkt die Gefäße der Transplantate relativ weit. 60 und 90 Tage p.op. nahm die Anzahl der Gefäße sowie deren Durchmesser in der Regel wieder ab.

Bei vorsichtiger Interpretation dieser Befunde und im Vergleich mit der diesbezüglichen Literatur scheint der Schluß erlaubt, daß aufgrund der raschen Revaskularisierung bei dieser Form der Transplantatfixation und Ruhigstellung eine große Anzahl determinierter osteogenetischer Zellen im Knochenspan vital erhalten werden kann.

7.0 LITERATURVERZEICHNIS :

1. ANNERSTEN, S. :
Experimentelle Untersuchungen über die Osteogenese
und die Biochemie des Fracturcallus.⁴
Acta chir.scand. 89, Suppl. 60, 1, (1940)
2. AXHAUSEN, G. :
Histologische Untersuchungen über Knochentransplan-
tation am Menschen.
Dtsch.Z.Chir. 91, 388 (1908) a.
3. AXHAUSEN, G. :
Die pathologisch-anatomischen Grundlagen der Lehre
der freien Knochentransplantation beim Menschen
und Tier.
Med.Klin. 2, Beiheft, 23 (1908) b
4. AXHAUSEN, G. :
Die histologischen und klinischen Gesetzæ der
freien Osteoplastik auf Grund von Tierversuchen.
Langenbecks Arch.Klin.Chir. 88, 23 (1909)
5. AXHAUSEN, G. :
Arbeiten aus dem Gebiet der Knochenpathologie und
Knochenchirurgie.
1. Kritische Bemerkungen und neue Beiträge zur
freien Knochentransplantation.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 94, 241 (1911)
6. AXHAUSEN, W. :
Die Quellen der Knochenneubildung nach freier
Transplantation.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 270, 439 (1951)
7. AXHAUSEN, W. :
Die Knochenregeneration, ein zweiphasiges
Geschehen.
Zbl.Chir. 77, 435 (1952)
8. AXHAUSEN, W. :
Die Bedeutung der Individuell- und Artspezifität
der Gewebe für die freie Knochenüberpflanzung.
Hefte zur Unfallheilkunde 72, 1 (1962)

9. BAGBY, G.E., J.M.JANES :
The Effect of Compression on the Rate of Fracture
Healing Using a Special Plate.
Amer.J.Surg. 95, 761 (1958)
10. BARCLAY, A.E. :
Micro-Arteriographie and other Radiological
Technique Employed in Biological Research
Oxford: Blackwell 1951
11. BARTH, A. :
Ober histologische Befunde nach Knochenimplantationen
Langenbecks Arch.klin.Chir. 46, 409 (1893)
12. BARTH, A. :
Zur Frage der Vitalität replantierter Knochen-
stücke.
Berl.Klin.Wschr. 31, 340 (1894)
13. BASSETT, C.A.L., D.K.CREIGHTON, F.E. STINCHFIELD :
Contributions of Endosteum, Cortex and Soft
Tissues to Osteogenesis.
Surg. Gynec.Obstet. 112, 145 (1961)
14. BASSETT, C.A.L. :
Current Concepts of Bone Formation
J.Bone Jt. Surg. 44-A, 1217 (1962)
15. BASSETT, C.A.L. :
Clinical Implications of Cell Function in
Bone Grafting
Clin.Orthop. 87, 49 (1972)
16. BELLMANN, S. :
Microangiographie, Acta Radiol.
Suppl. 102, 7 (1953)
17. BERG, van de P,A, ;
Revaskularisation osteomierter langer Röhren-
knochen nach stabiler und instabiler Osteosynthese
durch intra- und extramedulläre Kraftträger.
Med.Habil-Schrift, Homburg Saar 1970
Annales Universitatis Saraviensis
Medizin, Vol. XIX, Fasc. 3 (1972)

18. BERTELSEN, A. :
Experimental Investigations in Post-Foetal
Osteogenesis
Acta orthop.scand. 15, 139 (1944)
19. BERTINI, G. :
La Vascolarizzazione Negli Innesti ossei Auto-
plastici
Arch.ital.Chir. 16, 105 (1926)
20. BONFIGLIO, M., W.S. JETER :
Immunological Responses to Bone
Clin.Orthop. 87, 19 (1972)
21. BOYD, H.B., ZILVERSUNT, D.B. and CALANDRUSSIO, R.A. :
The use of readioactive phosphorus (P^{32})
to determine the viability of the head of the
femur
J.Bone and Joint Surg. 37-A, 260 (1955)
22. BRANEMARK, P.J. :
Vital microscopy of bone marrow in rabbit
Scand.J.Clin.Lab.Invest. 11, Suppl. 38 (1959)
23. BRIDGES, J.B., J.J.PRITCHARD :
Bone and Cartilage Induction in the Rabbit.
J.Anat. 92, 28 (1958)
24. BROOKES, M. :
The vascularization of long bones in the human fetus
J.Anat. 92/2, 261-167 (1958 b)
25. BROOKES, M., ELKIN, A.E., HARRISON, R.G., HEALD, C.B. :
A new concept of capillary circulation in
bone cortex
some clinical applications
Lancet 20, 1078-1081 (1961 b)
26. BURWELL, R.G. :
Studies in the Transplantation of Bone
J.Bone Jt Surg. 45-B, 386 (1963)
27. BURWELL, R.G. :
Studies in the Transplantation of Bone
J. Bone Jt Surg. 46-B, 110 (1964)

28. BURWELL, R.G. :
Osteogenesis in Cancellous Bone Grafts :
Considered in Terms of cellular Changes, Basic-
Mechanism and the Perspective of growth-Control
and its possible Aberrations.
Clin.Orthop. 40, 35 (1965)
29. CHALMERS, J. :
Transplantation immunity in bone homografting
J.Bone Jt Surg. 41-B, 160 (1959)
30. CHALMERS, J., R.D. RAY :
The Growth of Transplanted Foetal Bone in Different
Immunological Environments.
J.Bone Jt Surg. 44-B, 149 (1962)
31. CLARK, E.R. :
Growth and Behavior of Peripheral Blood Vessels
The Nathan Lewis Hatfield Lectures, XIV,
Trans.Coll.Physicians, Philad. 4, 3, (1936)
32. CLARK, E.R., E.L. CLARK :
Microscopic Observations on the Growth of Blood
Capillaries in the Living Mammal.
Amer.H.Anat. 64, 251 (1939)
33. COHEN, J., and HARRIS, W.H. :
The three-dimensional anatomy of haversian systems
J.Bone and Joint surg. 40-A, 419 (1958)
34. DAMBE, T.L. :
Revaskularisation der Diaphyse lange Röhrenknochen
nach Fraktur und Osteosynthese
Med.Diss. Homburg/Saar (1971)
35. DANIS, R. :
Théorie et pratique de l'ostéosynthese
Paris: Masson u. Cie. (1949)
36. DELEU, J., J. TRUETA :
Vascularisation of Bone Grafts in the Anterior
CHAMBER of the Eye
J. Bone Jt Surg. 47-B, 319 (1965)

37. DOAN, C.A. :
The capillaries of the bone marrow of the adult
pigeon. Bull Johns
Hopkins Hosp. 33, 222 (1922 a)
38. DOAN, C.A. :
The circulation of the bone marrow
Contribs.Embryol. 14, 29 (1922 b)
39. DRINKER, C.K., DRINKER, K.R. and LUND, C.C. :
The circulation in the mammalian bone-marrow.
Am.J.Physiol. 62, 1 (1922)
40. DOKER, J., HARLE, F., N. NIEDERDELLMANN :
Beckentransplantat im Unterkiefer unter belastungs-
stabilen Verhältnissen im Tierexperiment.
Fortschr.Kiefer- Gesichtschirurgie
hrsg.: v. K. SCHUCHARDT und H. SCHEUNEMANN
Bd. XX, S. 21, Thieme, Stuttgart (1976)
41. ENOMOTO, H. :
Experimental Studies of Vascular Changes in Bone
Grafting to the Mandible.
Shika Gakuho 71, (1971) japanisch
42. v. ERTL, J. :
Die Chirurgie der Gesichts- und Kieferdefekte
Urban und Schwarzenberg, Berlin-Wien (1918)
43. FORGON, M., G. BORNEMISZA :
Über die Revaskularisierung eines auto- und homio-
plastischen Spongiosatransplantates im Tierversuch.
Bruns' Beitr.klin.chir. 218, 277 (1970)
44. FREITAG, V., STETTER, W., CHARBIT, P. :
Über die Technik der Kontaktmikroradiographie
Electromedica 2 /74
45. FREITAG, V., RUPPERSBERGER, H. :
Kontaktmikroradiographie verkalkter biologischer
Objekte mit charakteristischer Röntgenstrahlung
Dtsch-zahnärztl. Zeitung 27 (1972)

46. FRICK, W. u. W.F. PERSCH :
Der Einfluß des Kontrastmitteltyps auf das
Arterienkaliber in der experimentellen Angio-
graphie.
Fortschr. Röntgenstr. 111 (1969)
47. FRIES, G. :
Intravitale Druckmessung am Knochen.
Methodik und praktische Anwendung.
Med.Habil.-Schrift Homburg/Saar 1969
Annales Universitatis Saraviensis
48. FROST, H.M. :
Bone remodelling dynamics. ✓
Thomas, Springfield (1963)
49. GALLIE, W.E., D.E. ROBERTSON :
The Repair of Bone
Brit.J.Surg. 7, 211 (1919)
50. GANZER, H. :
Die plastische Wiederherstellung verlorengegan-
gener Teile nach Schußverletzung des Gesichts und
Gesichtsschädels.
Dtsch.Zahn-,Mund-u.Kieferheilk. 7, 417 (1940) a
51. GANZER, H. :
Beiträge zur Technik der Knochentransplantation
bei Unterkieferdefekten (nach eigenen Erfahrungen)
Plast.Chir. 1, 113 (1940) b.
52. GANZER, H. :
Die Kriegsverletzungen des Gesichts- und Gesichts-
schädels.
Barth, Leipzig (1943)
53. GEGENBAUR, C. :
Über die Bildung des Knochengewebes
Jena.Z.Med.Naturw. 1, 343 (1864)
54. GRAF, R. :
Gefäßversorgung autoplastischer Spongiosatransplan-
tate und ihre Bedeutung.
Bruns'Beitr.klin.chir. 198, 390 (1959)

55. GÖTHEMAN, L. :
Vascular Reactions in Experimental Fractures
Microangiographic and Radioisotope Studies
Akademisk Avhandling Stockholm 1961
56. HAM, A.W. :
Some histophysiological problems peculiar to
calcified tissues
J.Bone Jt surg. 34-A, 701 (1952)
57. HAM, A.W., W.R. HARRIS :
Repair and Transplantation of Bone
In: The Biochemistry and Physiology of Bone
hrsg. v. G.H. BOURNE
S. 475, New York. Academic Press (1956)
58. HAM, A.W., W.R. HARRIS :
Repair and Transplantation of Bone
In: The Biochemistry and Physiology of Bone.
hrsg. v.G.H. BOURNE
Vol.III, S. 337
New-York.London: Academic Press (1971)
59. HAMMACK, B.L., W.F. ENNEKING, M.D.JACKSON :
Comparative Vascularization of Autogenous and
Homogenous-Bone Transplants
J.Bone Jt Surg. 42, 811 (1960)
60. HAMMERSEN, F., und SEIDEMANN, I. :
Ein Beitrag zur Angioarchitektur der Knochenhaut.
Arch.orthop.Unfall-Chir. 56 617 (1964)
61. HANCOX, N.M. :
The Survival of Transplanted Embryo Bone Grafted
to Chorioallantoic Membrane, and Subsequent
Osteogenesis
J.Physiol. 106, 279 (1947)
62. HEIPLE, K.G., S.W. CHASE, C.H.HERNDON :
A comparative Study of the healing process following
different types of bone transplantation
J.Bone Jt Surg. 45-A, 1593 (1963)

63. HÜLTJE, W.-E. :
Tierexperimentelle Untersuchungen über die unterschiedliche Einheilung von autologen Rippentransplantaten in Abhängigkeit von ihrer Größe
Fortschr.Kiefer- u.Gesichtschir.Bd.XXI,S.45
hrsg.v.K.SCHUCHARDT und H.PFEIFFER
Thieme, Stuttgart (1976)
64. JANSEN, M.T. :
An Improved Method for the Preparation of Serial Sections of Undecalcified Dental Tissues
J.dent.Res, 29, 401 (1950)
65. JOHNSON, R.W. :
A physiological study of the blood supply of the diaphysis
J.Bone Jt Surg. 9, 153 (1927)
66. JOWSEY, E. :
Die mikroradiographische Beurteilung der Knochenstruktur.
Triangel 12, 93 (1974)
67. KIEHN, C.L., F. CEBUL, M. BERG, u.a. :
A study of the Vascularisation of Experimental Bone Grafts by Means of Radioactive Phosphorus and the Transparent Chamber.
Ann.Surg. 136, 404 (1952)
68. KINOSITA, R., OHNO, S. and BIERMANN, H.R. :
Observations on regenerating bone marrow tissue in situ (Abstract)
Proc.Am.Assoc.Cancer Research 2, 125 (1956)
69. KNESE, K.H. :
Die periostale Osteogenese und Bildung der Knochenstruktur bis zum Säuglingsalter
Z.Zell. 44, 585 (1956)
70. KNESE, K.H., A.M. KNOOP :
Elektronenoptische Untersuchungen über die periostale Osteogenese.
Z.Zellf. 48, 455 (1958)

71. KNESE, K.H., A.M.KNOOP :
Chondrogenese und Osteogenese,elektronenmikrosko-
pische und lichtmikroskopische Untersuchungen.
Z.Zellf. 55, 413 (1961)
72. KNESE, K.H. :
Knochenbildung und Entwicklung der Knochenstruktur.
Verh.dtsch.path.Ges. 47, 35 (1963)
73. KROGER, E., G. LÜSCH :
Experimentelle Untersuchungen über Gefäßanschlüsse
autoplastischer Knochentransplantate und die
Bedeutung überlebender Zellen für die Knochenneu-
bildung.
Dtsch.Zahn-,Mund-u.Kieferheilk. 41, 177 (1964) a
74. KROGER, E.,G. LÜSCH :
Zur Frage der Bedeutung überlebender Zellen in
autoplastischen Knochentransplantaten für die
Osteogenese.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 306, 78 (1964)
75. LACROIX, P. :
Organizers and the growth of bone
J.Bone Jt Surg. 29, 292 (1947)
76. LANGER, K. :
Über das Gefäßsystem der Röhrenknochen, mit
Beiträgen zur Kenntnis des Baues und der Entwicklung
des Knochengewebes.
Kgl.Akad,Wiss,Math.-Naturw. Cl. 36, 1 (1876)
77. LENDRODT, J.,L.-I.HÜLTJE :
Tierexperimentelle Untersuchungen zur Revaskularisa-
tion autologer Knochentransplantate.
Fortschr.Kiefer-u.Gesichtschir.
hrsg. von K. SCHUCHARDT u. H. SCHEUNEMANN
Bd. XX, S. 17, Thieme, Stuttgart (1976)
78. LEXER, E., KULIGA, M. und TORK, W. :
Untersuchungen über Knochenarterien mittels Röntgen-
aufnahmen injizierter Knochen und ihre Bedeutung
für einzelne pathol. Vorgänge am Knochensystem.
Berlin: Hirschwald 1904

79. LEXER, E. :
Die Verwendung der freien Knochenplastik nebst
Versuchen über Gelenkversteifung und Gelenktrans-
plantation.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 86, 939 (1908)
80. LEXER, E. :
Über freie Transplantationen
Langenbecks Arch.klin.Chir. 95, 827 (1911)
81. LEXER, E. :
Enderfolge der freien Knochentransplantation
Münch.med.Wschr. 66, 1275 (1919)
82. LINDEMANN, A. :
Über die Beseitigung der traumatischen Defekte
der Gesichtsknochen. In: Die gegenwärtigen Behand-
lungswege der Kieferschußverletzungen H. IV-VI.
hrsg. von Chr. BRUHN, S. 243, Bergmann, Wiesbaden(1915)
83. LINDEMANN, A. :
Die autoplastische Deckung von Lücken des Gesichts-
schädels, mit besonderer Berücksichtigung der
Regenerationsvorgänge.
Zbl.Chir. 53, 3179 (1926)
84. LINDEMANN, A. :
Leitfaden der Chirurgie und Orthopädie des Mundes
Barth, Leipzig (1938)
85. LONGAGCRE, J.J. :
Transplantation of bone
Reconstructive Plastic Surgery
Principles and Procedures in Correction, Reconstruc-
tion and Transplantation, J.M. Converse, W.B. Saunders
Company-Philadelphia and London (1964)
86. MARCHAND, F. :
Transplantation lebender Knochen
In: Deutsche Chirurgie, 16, 460
F.Enke, Stuttgart (1901)

87. MARNEFFE, R. De :
Recherches norphologiques et experimentales sur
la vascularisation osseuse.
Acta chir.belg. 50, 496, 568, 681 (1951)
88. MATZEN, P.F. :
Vom Einfluß mechanischer Einwirkungen auf die
Kallusbildung.
Bruns'Beitr.klin.chir. 184, 147 (1952)
89. NESLON, G.G., Jr., KELLY, P.J., PETERSON, L.F.A.
and JANES, J.M. :
Blood supply of the human tibia
J.Bone and Joint Surg. 42 A, 625 (1961)
90. OBERDALHOFF, H. :
Zur Frage der Knochenneubildung.
Chirurg 17/18, 123 (1947)
91. OLERUD, S., G. DANCKWARDT-LILIENSTRÖM :
Fracture healing in compression osteosynthesis
in the dog.
J.Bone Jt Surg. 50-B, 844 (1968)
92. OLLIER, L. :
Traité experimentale et clinique de la régénération
des os et de la production artificielle du tissu
osseux.
Masson & cie, Paris (1867)
93. PAYR, E. :
Über osteoplastischen Ersatz nach Kieferresektion
(Kieferdefekten) durch Rippenstücke mittels ge-
stielter Brustwandlappen oder freier Transplantation.
Zbl.Chir. 35, 1065 (1908)
94. PETERSON, L.F.A., NEHER, M., JANES, J.M. and KELLY, P.J.
A stereoscopic microangioradiographic camera with
vacuum filmholder and a Stereomicroscope.
Proc.Staff. Meeting Mayo Clinic 34, 283 (1959)

95. PRITCHARD, J.J. :
A Cytological and Histochemical Study of Bone
and Cartilage Formation in the Rat.
J.Anat.(Lond.) 86, 259 (1952)
96. PRITCHARD, J.J. :
The Osteoblast
In: The Biochemistry and Physiology of Bone
hrsg. von G.H. BOURNE
S.179, Academic Press, New Aork (1956)
97. RAY, R.D., T.Y. SABET :
Bone Grafts: Cellular Survival Versus Induction
J.Bone Jt Surg. 45-A, 337 (1963)
98. RAY, R.D. :
Vascularization of bone grafts and implants
Clin.Orthop. 87, 43 (1972) b
99. REUTHER, J. :
Druckplattenosteosynthese und freie Knochentrans-
plantation zur Unterkieferresektion- Experimentelle
und klinische Untersuchungen .
Habil.Schrift, Mainz 1977
100. RHINELANDER, F.W., R.A. BARAGRY :
Microangiography in Bone Healing
I.Undisplaced Closed Fractures.
J.Bone Jt Surg. 44-A2, 1273 (1962)
101. RHINELANDER, F.W., R.S. PHILIPS, W.M.STEEL, J.C.BEER :
Microangiography in bone Healing
J.Bone Jt Surg. 50-A, 643 (1968)
102. ROEDI, T.P., C.L. BASSETT :
Reair and remodelling in Millipore-isolated defects
in cortical bone.
Acta anat.(Basel), 68, 509 (1967)
103. SPALTEHOLZ, K.W. :
Ober das Durchsichtigmachen von menschlichen und
tierischen Präparaten nebst Anhang: Ober Knochen-
färbung.
Leipzig, Hirzel (1911)

104. STEIN, A.H. jr, MORGAN, H.C. and PORRAS, R.F. :
The effect pressor and depressor drugs on intra-
medullary bone-marrow pressure
J.Bone and Joint Surg. 40-A, 1103 (1958)
105. STRINGA, G. :
Studies of the Vascularisation of Bone Grafts.
J.Bone Jt Surg. 39-B, 395 (1957)
106. SYKOFF, V. :
Zur Frage der Knochenplastik am Unterkiefer.
Zbl.Chir. 27, 881 (1900)
107. SCHENK, R., H. WILLENEGGER :
Zur Histologie der primären Knochenheilung.
Langenbecks Arch.klin.Chir. 308, 440 (1964)
108. SCHWEIBERER, L., van de BERG, A., DAMBE, L. :
Das Verhalten der intraossären Gefäße nach Osteo-
synthese der frakturierten Tibia des Hundes
Therapiewoche 26/27 1330 (1970)
109. SCHWEIBERER, L. :
Experimentelle Untersuchungen von Knochentransplan-
taten mit unveränderter und mit denaturierter
Knochengrundsubstanz. Ein Beitrag zur kausalen
Osteogenese.
Hefte Unfallheilk. 103,
Springer, Berlin-Heidelberg-New York (1970)
110. SCHWEIBERER, L. :
Neuere Ergebnisse zur Knochenregeneration und ihre
klinische Bedeutung.
Langenbecks Arch.Chir. 329, 986 (1971) a.
111. SCHWEIBERER, L. :
Der heutige Stand der Knochentransplantation.
Chirurg 42, 252 (1971) b.
112. TRUETA, G., A.E.BARCLAY, D.M.DANIEL, K.G.FRANKLIN,
M.M.L. PRICHARD :
Studies of the renal circulation.
Oxford: Blackwell (1947)
113. TRUETA, J., M.H.M. HARRISON :
The Normal Vascular Anatomy of the Femoral Head
in Man
J.Bone Jt Surg. 35-B, 442 (1953)
114. TUCKER, F.R. :
The use of radioactive phosphorus in the diagnosis
of avascular necrosis of the femoral head
J.Bone and Joint Surg. 32-B, 100 (1950)

115. URIST, M.R. :
Physiologic Basis of Bone-graft Surgery with
Special Reference to the Theory of Induction.
Clin.Orthop. 1, 207 (1953)
116. WATZKA, M.:
Kurzlehrbuch der Histologie und mikroskopischen
Anatomie des Menschen
F.K. Schattauer-Verlag, Stuttgart (1974)
117. WILLENEGGER, H., S.M.PERREN, R. SCHENK :
Primäre und sekundäre Knochenbruchheilung.
Chirurg. 42, 241 (1971)
118. WILLERSTAEDT, H., G.LEVANDER, L. HULT :
Studies in Osteogenesis
Acta orthop.scand. 19, 4=9 (1950)
119. WILLIAMS, R.G. :
Comparison of Living Autogenous and Homogenous
Grafts Cancellous Bone Heterotopically Placed
in Rabbits.
Anat.Rec. 143, 93 (1962)
120. YOUNG, R.W. :
Cell Proliferation and Specialization During
Endochondral Osteogenesis in Young Rats.
J.Cell.Biol. 14, 357 (1962) a
121. YOUNG, R.W. :
Spezialization of Bone Cells
In: Bone Biodynamics
hrsg.v. H.M. FROST, S. 117
Boston: Little, Brown u. Co. (1964)
122. ZEISS, I.M., N.W. NISBET, B.P. HESLOP :
Studies on Transference of Bone
Brit.J.exp.Path. 41, 345 (1960)

LEBENS LAUF :

Am 17. 4. 1950 wurde ich als Sohn des Metzgermeisters Josef Bodtländer und dessen Frau Anna, geb. Krall in Saarlouis geboren.

Von 1956 bis 1965 besuchte ich die Katholische Volksschule Saarlouis-Roden; zwischen 1965 und 1970 das Staatl.Aufbaugymnasium Saarlouis, wo ich mein Abitur bestand.

Nach 6 Monaten Krankenpflegedienst im Jahre 1970 leistete ich von Januar 1971 bis Juni 1972 meinen Wehrdienst ab.

Im Oktober 1972 konnte ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz das Studium der Zahnheilkunde beginnen, das ich im November 1977 mit dem Staatsexamen abschloß.

Von Januar 1978 bis Dezember 1978 war ich wissenschaftlicher Angestellter in der Zahnärztlich-Chirurgischen Poliklinik der Universitätsklinik Mainz.

Seit Dezember 1978 bin ich Assistent in der Praxis von Dr. M. Cassellini in Chur / Schweiz.

DANKSAGUNG :

Herrn Prof. Dr. Dr. J. REUTHER danke ich für die Überlassung des Themas, die Hilfe bei der Durchführung der experimentellen Untersuchungen sowie die Beratung bei der Auswertung der Ergebnisse.

Herrn Prof. Dr. Dr. Freitag (Universität Homburg/Saar) danke ich für die freundliche Bereitstellung der Mikroflexanlage und der technischen Abbildungen.

Herrn Prof. Dr. Dr. Tetsch danke ich für die Übernahme des zweiten Gutachtens.

